CUESTIONES Y EJERCICIOS NUMÉRICOS

Cuestiones

①Define onda longitudinal y onda transversal. Cita al menos un ejemplo de cada una de ellas e indica la magnitud que se propaga y sus características. (Prueba de acceso)

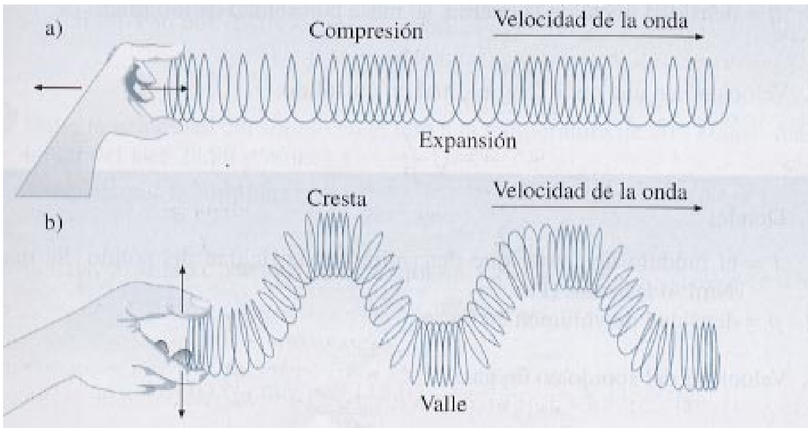
➟ **Ondas longitudinales**: son aquellas en las que el movimiento vibratorio tiene la misma dirección que su propagación a través del medio; son las que se producen en un muelle cuando las espiras se mueven oscilando en la misma dirección que la transmisión del movimiento ondulatorio. Estas ondas se producen al comprimir y luego soltar una zona del muelle. Es el caso del sonido que se propaga a través de un fluido o las ondas sísmicas primarias (P).

➟ **Ondas transversales**: son aquellas en las que el movimiento vibratorio tiene lugar en la dirección perpendicular a la de su propagación por el medio; son las que se producen en la superficie del agua o en las cuerdas y en los muelles cuando los puntos de los mismos se mueven oscilando perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda. Estas ondas se consiguen cuando con las manos producimos sacudidas perpendiculares a la línea o a la superficie de estos objetos. La propiedad física que se propaga varía en una dirección perpendicular al rayo. Las ondas sísmicas secundarias (S) son ejemplos de ondas transversales.

② Explica la diferencia entre una onda longitudinal y una onda transversal. ¿Se puede hablar de ondas polarizadas en ambos casos? ¿Por qué? (Prueba de acceso)

Una onda es longitudinal cuando la dirección de vibración de las partículas coincide con la dirección de propagación. Una onda es una sucesión de contracciones y dilataciones del medio. Estas ondas también reciben el nombre de ondas de presión. El sonido, por ejemplo, se propaga por medio de este tipo de ondas.

Una onda es transversal cuando se propaga perpendicularmente a la dirección en que vibran las partículas. Es una sucesión de flexiones de las partículas del medio lo que hace que la onda se propague a su través. Una onda transversal es una sucesión de crestas y valles .



✳ Solamente las ondas transversales se pueden polarizar. En las ondas longitudinales no tiene sentido el término polarización, ya que la dirección de vibración coincide con la dirección de propagación.

✳ La onda transversal producida por un solo foco está normalmente polarizada. Las ondas transversales producidas por varios focos que actúan independientemente no están polarizadas.

✳ Las ondas luminosas son producidas por las vibraciones de los electrones del átomo sin que exista entre ellas ninguna relación de fase. Por tanto, las ondas luminosas normales no están polarizadas.

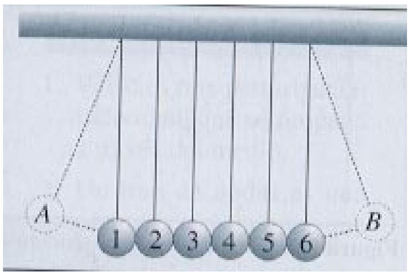
③ Cita ejemplos de ondas uni, bi y tridimensionales.

Ondas unidimensionales La energía se propaga en una dimensión. Por ejemplo, la onda que se propaga en una cuerda.

Ondas bidimensionales La energía se propaga en un plano. Por ejemplo, las ondas que se propagan en la superficie del agua.

Ondas tridimensionales La energía se propaga en tres dimensiones. Por ejemplo, el sonido.

④ Pon algún ejemplo que ponga de manifiesto que una onda transmite energía sin transporte efectivo de materia.



Observa y analiza la Figura. Para explicar el fenómeno de la propagación a través de un medio, representamos una serie de partículas de este medio por bolas de acero de igual tamaño, colgadas en el mismo plano (de hilos de igual longitud) y en contacto unas con otras.

❶ Desplazamos lateralmente hacia la izquierda la bola 1 hasta alcanzar la posición A y la soltamos. Toda la energía potencial que le hemos suministrado la transmite en el momento del choque a la bola 2 y ésta a la siguiente, etc.

❷ Al cabo de un breve tiempo el movimiento de la bola 1 se ha transmitido a la bola 6 que subirá hasta la posición B en donde alcanzará la misma energía que tenía inicialmente la bola 1.

❸ Recuerda que las bolas son de acero. ¿Qué ocurriría si el experimento lo realizásemos con bolas de plastilina?

❹ Si las bolas 2, 3, 4 y 5 fueran de plastilina, la energía inicial de la bola 1 se consumiría en la deformación de las bolas siguientes y no llegaría nada a la bola 6.

Nos hemos servido de este dispositivo para representar las partículas que forman el medio material de propagación y de él se deducen las siguientes conclusiones:

❶ La energía de la partícula 1 se ha transmitido a la partícula 6 a través de las partículas 2, 3, etc.

❷ Estas partículas intermedias no se han desplazado mientras han transmitido la energía.

❸ En una onda solamente se transmite energía de la partícula que origina el movimiento. Esta partícula recibe el nombre de centro emisor.

❹ El medio de propagación ha de ser elástico.

La onda en el agua se mueve de un lugar a otro aunque el agua no se mueva con ella. Esto se puede comprobar con la siguiente experiencia:

Si en un estanque se deja caer una piedra, la perturbación producida se propaga en todas las direcciones de la superficie en forma de ondas circulares. Cuando la onda llega a un corcho que esté flotando en el agua, éste sube y baja; pero cuando la onda ha pasado, el corcho permanece en el mismo punto sin desplazarse con la onda.

⑤ *¿Cómo calcularías la energía de un trozo de cuerda a través de la cual se está propagando una onda? Razona la respuesta. (Prueba de acceso)*

La energía de cada una de las partículas de la cuerda, que suponemos perfectamente elástica (la energía se conserva), es la suma de sus energías cinética y potencial de vibración:

$$E = Ec + Ep = cte.$$

En un instante en el que la partícula pasa por su posición de equilibrio (Ep = 0), su velocidad será máxima:

$$E = Ec + Ep = (1/2)\ mv_{max}$$

Como la velocidad máxima en un m.a.s. es $v = A\omega$, tenemos:

$$E = \frac{1}{2} mv_{max}^2 = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2 = \frac{1}{2} m(2\pi N)^2 A^2 = 2\pi^2 mN^2 A^2$$

⑥Cita ejemplos que resalten la importancia de la resonancia en la naturaleza.

Al fenómeno observado a l golpear un diapasón y ver como otros próximos comienzan a vibrar y sonar, se le denomina resonancia (de "volver a sonar"). El análisis de este experimento y de otros, como el que un tambor comience a vibrar al tocar otro tambor próximo, o que los cristales de las ventanas vibren por una explosión o por el paso, por la calle, de un camión de gran tonelaje, nos lleva a aceptar el modelo del movimiento ondulatorio para explicar la audición, ya que eso mismo, resonar, es lo que hace nuestro tímpano por el choque de las partículas del aire.

Los fenómenos de resonancia son básicos en la naturaleza. Cuando se producen, la frecuencia de resonancia coincide con la frecuencia propia del sistema oscilante, es decir, con la frecuencia de oscilación libre del sistema. En estas condiciones tiene lugar el máximo de transferencia de energía desde el exterior al sistema oscilante. La función amplificadora de la resonancia es el papel que cumple la caja de resonancia en los instrumentos musicales o nuestra caja torácica que vibra al hablar. También hacen de caja de resonancia nuestras manos al hacer bocina (y las bocinas) cuando llamamos a gritos.

La interpretación del fenómeno de la resonancia no es más que la idea básica del modelo ondulatorio: así, cada partícula del medio alcanzada por un movimiento ondulatorio (MO) repite la vibración del foco, aunque con un cierto retraso debido a la velocidad de transmisión, pero sin variar la frecuencia; y esto es precisamente lo que hace nuestro tímpano, que es una membrana elástica tipo tambor. Esta vibración del tímpano, debidamente amplificada por la cadena de huesecillos de nuestro oído medio y traducida a señal nerviosa por el cerebro, es la que origina la audición. El tímpano es capaz de oír (resonar) en el mejor de los casos vibraciones desde más de 20 Hz a menos de 20 000 Hz, lo que representa el campo audible para los humanos. Como recordarás, las vibraciones de frecuencias inferiores a 20 Hz (infrasonidos) y las superiores a 20 000 Hz (ultrasonidos) no son captadas por nuestro tímpano y por tanto, no las percibimos. Sin embargo otros seres, como por ejemplo los murciélagos, detectan los ultrasonidos. Aunque la resonancia en sentido estricto tiene lugar a una frecuencia única, nuestro tímpano tiene la propiedad de resonar en un amplio intervalo de frecuencias, lo que nos permite ampliar nuestro campo acústico.

⑦Explica qué aspecto importante de las ondas pone de manifiesto, además de la resonancia, el hecho de romperse los cristales de las ventanas a consecuencia de una fuerte explosión.

Los cristales de las ventanas se rompen por acción de la onda explosiva, una onda de presión que se genera por dos causas : el calentamiento el aire circundante a la zona de la explosión y que tiende a expandirse al ser sometido a elevadas temperaturas y la generación de gran cantidad de gases en la reacción explosiva de combustión del explosivo.

Esta onda de choque de alta presión aplica una fuerza brutal sobre cualquier superficie que encuentra a su paso destruyéndola.

8 Da una explicación razonada del concepto de intensidad de un movimiento ondulatorio e indica los parámetros de que depende y su expresión matemática. (Prueba de acceso)

Para describir cuantitativamente el transporte de energía por medio de una onda mecánica, se define una magnitud llamada intensidad de la onda.

Si en un tiempo Δt pasa una energía ΔE a través de una superficie ΔS, definimos la **intensidad** como *la energía que en la unidad de tiempo atraviesa la unidad de superficie perpendicular ala dirección de propagación de la onda* (el vector que representa la superficie es paralelo a la dirección de propagación del movimiento ondulatorio o rayo):

$$I = \frac{\text{(Energía asociada a la onda)}}{\text{(Superfifie atravesada)(tiempo)}} = \frac{\Delta E}{\Delta S \cdot \Delta t} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Superficie}}$$

La intensidad indica la energía por unidad de tiempo y de superficie y por tanto se mide en W / m^2. Esta magnitud es escalar.

Dependencia de la intensidad con la amplitud y la frecuencia

Consideramos que el foco realiza un movimiento armónico simple (MAS) y que genera una onda mecánica que se propaga por un medio material; por tanto el foco transmite su energía a las partículas vecinas del medio homogéneo por el que se propaga la onda y en consecuencia cada una de ellas adquiere un movimiento oscilatorio armónico simple.

La energía total transmitida por el foco a cada partícula de masa m del medio, coincide con la energía potencial máxima o con la cinética máxima del MAS ya estudiado (recordar que $v_{max} = A\,\omega$):

$$E_{c,m} = \frac{1}{2} m v_{max}^2 = \frac{1}{2} m A^2 \omega^2 = \frac{1}{2} m A^2 4\pi^2 N^2 = k A^2 N^2$$

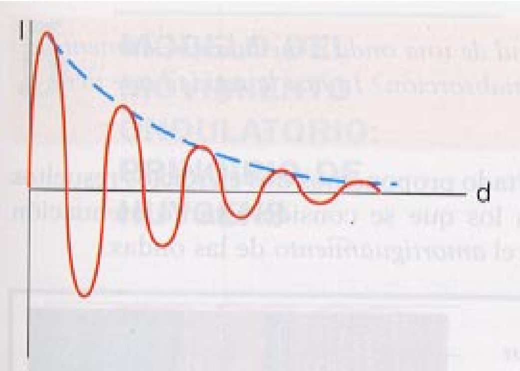
es decir, *la energía transmitida es proporcional al cuadrado de la amplitud y de la frecuencia*, lo que nos permite escribir para la intensidad, según la definición de la misma

$$I = \frac{E_{c,m}}{\Delta S \Delta t} = \frac{k A^2 N^2}{\Delta S \Delta t} = cte \cdot A^2 N^2$$

es decir que la intensidad es proporcional al cuadrado de la amplitud y de la frecuencia.

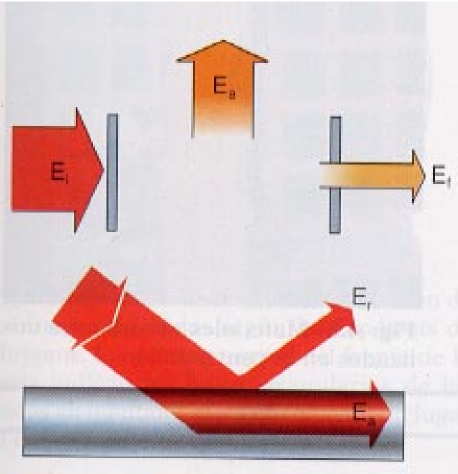
9 Explica la absorción de la intensidad de una onda en su transmisión a través de un medio. (Prueba de acceso)

La hipótesis de la conservación de la energía en todo el frente de ondas no se cumple en la realidad ya que parte de la energía aportada por la onda se transforma en otro tipo de energía según diferentes procesos que dependen del tipo de onda y del medio considerado. ***Este fenómeno recibe el nombre de absorción de ondas.***



Para estudiar la absorción, supongamos un medio material absorbente indefinido, por el que avanza una onda plana -a grandes distancias del foco los frentes de onda pueden considerarse prácticamente planos-. Elegimos una onda plana para considerar sólo el efecto de absorción y no de atenuación, aunque en cualquier otro tipo de onda se producen los dos simultáneamente.

Sea I la intensidad del frente en un punto del medio que tomaremos como origen de distancias (x = 0). Cuando la onda ha atravesado un espesor de material dx, se produce una disminución de la intensidad -dI.



Se comprueba empíricamente que la disminución de intensidad es proporcional a la intensidad en dicho punto, antes de atravesar el material, y al espesor atravesado, es decir

$$-dI = \beta\, I\, dx$$

siendo β el coeficiente de absorción; su valor depende de la clase de onda y del medio de propagación y, en general, cambia con la frecuencia.

Para determinar el valor de la intensidad en cada punto del medio I(x), separamos variables en la ecuación anterior e integramos:

$$\int_{I_0}^{I} dI/I = \int_0^x -\beta dx \Rightarrow \mathrm{Ln}I - \mathrm{Ln}I_0 = -\beta x \Leftrightarrow \mathrm{Ln}\frac{I}{I_0} = -\beta x \Leftrightarrow \frac{I}{I_0} = e^{-\beta x}$$

y, por tanto

$$I = I_0\, e^{-\beta x}$$

ley que nos indica que la intensidad decrece exponencialmente con el espesor del medio absorbente atravesado. La absorción se constata nítidamente en el caso de las ondas sonoras, cuando la habitación está vacía o cuando se encuentran muebles y especialmente cortinas en las paredes.

✦✦✦❁❁❁✲❁❁❁✦✦✦

➀➀ Disponiendo sólo de dos diapasones iguales, ¿cómo demostraremos con un experimento que el sonido es absorbido por cualquier sustancia en mayor o menor grado?

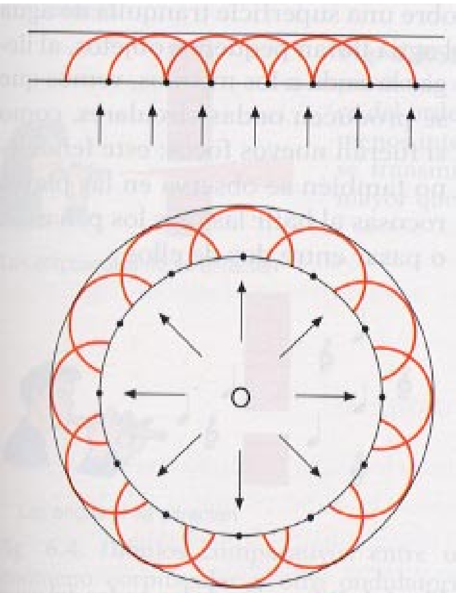
◊◊◊▣▣▣◉▣▣▣◊◊◊

Sirviéndonos del fenómeno de la resonancia (Cuestión Nº 6), si generamos una onda en uno de ellos y lo paramos, observamos que el otro empieza a resonar al cabo de cierto tiempo, señal de que la onda sonora se ha propagado por el medio (aire) y ha llegado al otro diapasón que ha entrado den resonancia. Si la experiencia la repetimos interponiendo distinto materiales entre ambos diapasones, cubriendo el segundo con un material cada vez más absorbente del sonido podemos constatar como el segundo diapasón vibra produciendo una onda sonora diferente y puede llegar a ser imperceptible con materiales muy absorbentes o de suficiente grosor.

①① Enuncia el principio de Huygens. Cita un ejemplo en la propagación de las ondas sonoras que se explique mediante la aplicación de este principio.

Vamos a reformular y enunciar la hipótesis básica debida a Christian Huygens (1629-1695), tal como fue publicada en su Tratado de la luz, en 1690:

Cada punto del frente de una onda que se propaga puede ser considerado como 1úente de una nueva onda u onda elemental, y la nueva posición del frente de onda es la envolvente común de todas estas ondas elementales emitidas desde todos los puntos del frente de onda en su posición anterior.



En resumen, cada punto de un medio que es alcanzado por un frente de ondas, se convierte a su vez en un nuevo foco secundario emisor de ondas.

En la figura se ha representado la construcción geométrica que se deduce del llamado principio de Huygens, para el caso de un frente de ondas plano y de otro circular.

Como podemos apreciar, el nuevo frente de onda es la envolvente de todas las ondas elementales producidas por los puntos pertenecientes al frente inicial.

El fenómeno del eco es una reflexión del sonido en un obstáculo producido al cambiar de dirección el frente de ondas o superficie formada por todos los puntos que son alcanzados por la onda sonora al mismo tiempo,

①② Explicar el fenómeno de la difracción a través de una rendija. (Prueba de acceso)

Este fenómeno se produce cuando un obstáculo impide el avance de una parte de un frente de onda.

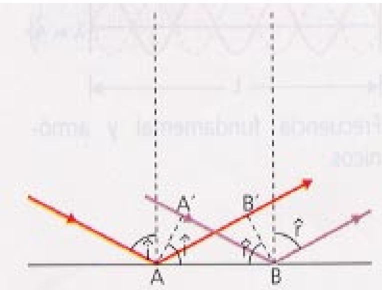
Los puntos del frente de onda que no están tapados por el obstáculo se convierten en centros emisores de nuevos frentes de ondas, según el principio de Huygens, logrando la onda bordear el obstáculo v propagarse detrás del mismo .
Si la longitud de onda es mayor que el tamaño de la rendija o del obstáculo interpuesto, la difracción es total y la onda supera o bordea el obstáculo. Si la longitud de onda es del orden del tamaño de la rendija o del obstáculo, la difracción es parcial y el efecto es menos intenso. Si la longitud de onda es bastante menor que el tamaño de la rendija, sólo se transmite la parte correspondiente al frente del orificio; en el caso de un obstáculo mayor que la longitud de onda, éste se convierte en un obstáculo insalvable para el MO.

➀➂ Enunciar las leyes de la reflexión y de la refracción. (Prueba de acceso)

Reflexión de ondas

La reflexión de ondas es el cambio de la dirección de propagación al incidir la onda en el límite de separación de dos medios diferentes; después de la reflexión, la onda continúa su propagación en el mismo medio. Son ejemplos de reflexión de ondas la desviación de la luz en un espejo o el eco que se produce al reflejarse el sonido en un obstáculo.

Experimentalmente se comprueba que están en un mismo plano la dirección de incidencia de las ondas, la dirección de emergencia y la normal a la superficie de separación en el punto en el que incide la onda.



Reflexión de ondas.

Supongamos un frente de ondas AA' que incide sobre una superficie formando un ángulo i con la normal a la misma y emerge con un ángulo r. Como vemos en la figura, teniendo en cuenta la definición de frente de ondas, el tiempo que tarda la perturbación en ir desde A' hasta B será igual al que tarda en ir de A a B'. Por tanto:

$$t_{AB'} = t_{A'B} \Leftrightarrow \frac{AB'}{v} = \frac{A'B}{v} \Rightarrow AB' = A'B$$

Los triángulos rectángulos AA'B y AB'B son iguales, y también lo serán los ángulos i y r.

Leyes de la reflexión

1ª La dirección de incidencia de la onda, la dirección de emergencia y la normal a la superficie de separación de ambos medios están en un mismo plano.

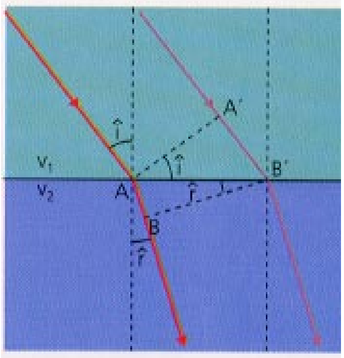
2ª El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión (**i** = **r**)

Refracción de ondas

La refracción de ondas es el cambio de la dirección de propagación al pasar la onda de un medio a otro diferente. Son ejemplos de refracción de ondas la desviación de la luz al pasar del aire al agua o del aire al vidrio. Si un medio no permite la transmisión de una onda en él, se dice que es opaco para ese movimiento ondulatorio.

Experimentalmente se comprueba que están en un mismo plano la dirección de incidencia de las ondas en el primer medio, la dirección de emergencia en el segundo medio y la normal a la superficie de separación de ambos medios en el punto en el que incide la onda.

Supongamos un frente de ondas que incide sobre una superficie formando con la normal a la misma un ángulo **i** y emerge en el segundo medio con un ángulo **r**. Como vemos en la figura, teniendo en cuenta la definición de frente de ondas, el tiempo que tarda la perturbación en ir desde A hasta B será igual al que tarda en ir de A' a B'. Por tanto:



Refracción de ondas ($v_2 < v_1$).

$$t_{AB} = t_{A'B'} \Rightarrow \frac{AB}{v_2} = \frac{A'B'}{v_1}$$

Siendo v_1 y v_2 las velocidades de propagación de la onda en el primer medio y en el segundo respectivamente. A partir de la figura tenemos AB = AB' · sen **r**, A'B' = AB' sen **i**; por tanto:

$$\frac{\operatorname{sen}\hat{i}}{v_1} = \frac{\operatorname{sen}\hat{r}}{v_2}$$

Leyes de la refracción

1ª La dirección de incidencia de las ondas, la dirección de emergencia y la normal a la superficie de separación de ambos medios están en un mismo plano.

2ª Ley de Snell: El ángulo de incidencia y el ángulo de refracción están relacionados por:

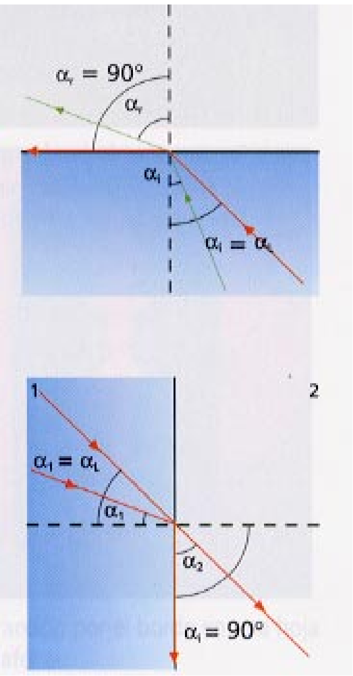
$$\frac{\operatorname{sen} i}{\operatorname{sen} r} = \frac{v_1}{v_2}$$

Se define el índice de refracción n del segundo medio respecto del primero como el resultado de dividir la velocidad de propagación de la onda en el primer medio por la que tiene en el segundo medio; es decir $n = v_1/v_2$.

①④ Una onda pasa de un medio en el que su velocidad es v_1, a otro en el que su velocidad v_2 es mayor, ($v_2 > v_1$). ¿Qué condición se debe dar para que se produzca reflexión total? (Prueba de acceso)

Si la velocidad en el medio de refracción es superior a la velocidad de propagación en el medio de incidencia ($v_2 > v_1$) , la onda en vez de desviarse para acercarse a la normal, se separa de ella. En consecuencia, el ángulo de refracción es mayor que el de incidencia.

Situando un foco en el interior del medio de mayor velocidad, la onda emergerían hacia el exterior. Ondas a, b, c... saldrían desviándose más o menos, según el ángulo de incidencia. A partir de un cierto ángulo límite α_L, las ondas no salen al exterior.



Si el ángulo de incidencia es superior al ángulo límite, la onda no atraviesa la superficie. Únicamente se refleja. Toda la intensidad del rayo incidente sigue por el rayo reflejado. Es el fenómeno de la reflexión total.

Ángulo límite α_L, es el ángulo de incidencia al que corresponde un ángulo de refracción de 90°, cuando la onda pasa de un medio a otro en el que se propaga a más velocidad.

Aplicando la ley de Snell: $\frac{v_2}{v_1} = \frac{\operatorname{sen}\alpha_i}{\operatorname{sen}\alpha_r}$

Haciendo el ángulo de incidencia igual al límite $\alpha_i = \alpha_L$ el de refracción será $\alpha_r = 90^o$ y nos queda:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{\operatorname{sen}\alpha_i}{\operatorname{sen}\alpha_r} = \frac{\operatorname{sen}\alpha_L}{\operatorname{sen}90^0} = \frac{\operatorname{sen}\alpha_L}{1} \Leftrightarrow \operatorname{sen}\alpha_L = \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

Esta expresión permite calcular el ángulo límite en función del índice de refracción de un medio y del cociente de las velocidades.

❖❖❖❁❁❁✲❁❁❁❖❖❖

➀➄ Fuentes y efectos de la contaminación sonora. (Prueba de acceso)

◊◊◊▣▣▣◉▣▣▣◊◊◊

A los agentes contaminantes atmosféricos por gases, hemos de añadir uno más: el ruido, propio de los grandes núcleos urbanos, donde el tráfico rodado es intenso.

En los últimos treinta años se ha producido un importante incremento del ruido ambiental, debido al aumento de la densidad de la población, la mecanización de las actividades humanas y la utilización masiva de vehículos de motor.

¿Por qué el ruido es un agente contaminante del medio ambiente?

✇ Los ruidos de gran intensidad, por encima de 120 dB, causan dolor al oído. Exposiciones breves a niveles de 140 a 150 dB pueden romper el tímpano y ocasionar sordera permanente.

✇ as exposiciones más prolongadas, para niveles superiores a 60 dB, también pueden dañar el oído. Por ejemplo, puede haber pérdida de audición en cierto intervalo de frecuencias.

¿Has experimentado una sordera temporal después de escuchar por un largo período de tiempo una banda de música?

Según la OCDE, unos 300 millones de personas residen en zonas donde los ruidos ambientales superan los 65 decibelios, sobrepasando el nivel máximo de ruido admisible. Se ha demostrado que la exposición a sonidos muy fuertes, ya sea ruidos o música, hace que el oído pierda sensibilidad especialmente para las frecuencias altas.

Entre los jóvenes aumentan los problemas acústicos derivados de la utilización de cascos para escuchar música y también del elevado nivel de ruido existente en sus lugares de diversión.

Efectos del ruido excesivo

❖ Provoca la pérdida gradual de la audición e interfiere en el sueño y capacidad de concentración.

❖ Puede originar alteraciones fisiológicas en el sistema cardiovascular (aumento de la tensión arterial, alteraciones del ritmo cardiaco).

❖ Puede provocar trastornos en el aparato digestivo y aumento de secreción de adrenalina (conducta más agresiva).

❖ Daña el sistema nervioso.

➊➏ Indica si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones: **a)** La propagación de ondas sonoras exige la presencia de un medio material. **b)** Todas las ondas mecánicas son longitudinales; únicamente son transversales las ondas electromagnéticas. **c)** La difracción es el fenómeno ondulatorio que permite oír a una persona que está hablando sin estar situados justamente frente a ella o que se encuentre detrás de una pared. **d)** Estrictamente hablando, no existen frentes de onda de amplitud constante.

a) Verdadera el sonido necesita un medio material para propagarse, en el vació no se oye nada, uno de los errores más frecuentes de las películas del espacio (salvo quizás 2001 Una odisea espacial) es que se oyen motores de naves y explosiones en el espacio profundo donde el enrarecimiento es tal que difícilmente se podría percibir sonido alguno.

b) Falso, el sonido es una onda mecánica y es transversal, el que sea mecánica no significa nada más que necesita un medio para propagarse al contrario de las electromagnéticas (luz).

c) Verdadero pues en el obstáculo pueden producirse nuevos frentes de onda que propaguen la onda por detrás de él

d) Verdadero pues el rozamiento produce pérdidas de energía y esta disminuye la intensidad y ello hace que la amplitud disminuya con la distancia.

➊➐ Una de las aplicaciones de los ultrasonidos lo constituyen el sonar y las ecografías de uso médico; explica el fenómeno ondulatorio en que se basan.

Las ondas ultrasónicas o ultrasonidos son ondas mecánicas longitudinales y de presión cuya frecuencia es superior al límite de audición. Pueden tener una frecuencia hasta de 106 Hz. En estas condiciones la longitud de onda puede ser del orden de $5 \cdot 10^{-5}$ m, semejante a la longitud de onda de la luz visible.

Como la energía de un movimiento vibratorio es proporcional al cuadrado de la frecuencia, resulta que una vibración ultrasónica emite una gran cantidad de energía.

Un haz de ultrasonido es dirigido hacia abajo desde un barco y se refleja en el fondo del mar, la profundidad se calcula si se conoce la velocidad del ultrasonido y el tiempo transcurrido. Se llama sonar a esta técnica. El sonar ultrasónico se usa no solamente para determinar el campo de acción de submarinos, sino también las regiones de bancos de peces.

El ultrasonido sirve, asimismo, para «ver» el feto en sus distintas etapas de desarrollo sin que ocurran los efectos peligrosos que pueden ocasionar los rayos X. Los diversos grados de reflexión de las áreas exploradas se reciben con un monitor y se almacenan en una computadora. Después la computadora reconstruye una « ecografía» de la región.

①⑧ *Las señales de radio de AM "pasan" mejor las montañas que las señales de FM. Da una explicación sabiendo que la longitud de onda de las AM oscila entre 200 y 600 m, mientras que la longitud de onda de las FM es de alrededor de 3 m.*

Al tener mayor longitud de onda (las ondas AM) pueden producir difracción con objetos de mayor tamaño, como montañas, y “pasarlas” lo que no pueden hacer las de FM que su pequeña longitud de onda impide la difracción en objetos de gran tamaño.

①⑨ *Explica el efecto Doppler. (Prueba de acceso)*

El efecto Doppler fue descubierto por el físico austriaco Christian J. Doppler en 1840.

El efecto Doppler es un fenómeno ondulatorio que se produce cuando hay un movimiento relativo entre un foco emisor de ondas y un observador. La frecuencia percibida por el observador es distinta de la frecuencia emitida por el foco.

Aparece el efecto Doppler siempre que hay un movimiento relativo entre la fuente y el observador. Cuando la fuente y el observador se mueven uno hacia el otro, la frecuencia escuchada por el observador es mayor que la frecuencia de la fuente. Cuando la fuente y el observador se mueven alejándose uno del otro, el observador escucha una frecuencia que es menor que la frecuencia emitida por la fuente.

1) La fuente está parada $v_F = 0$ y el observador se mueve con velocidad v_0 .

$$N' = N\frac{v \pm v_0}{v}$$

+ vo si se aproxima
- vo si se aleja

2) La fuente se mueve v_F y el observador está parado $v_0 = 0$.

$$N' = N\frac{v}{v \pm v_F}$$

- v_F si se aproxima
+ v_F si se aleja

3) Fuente y observador se mueven.

$$N' = N\frac{v \pm v_0}{v \pm v_F}$$

Para aplicar correctamente esta fórmula se debe tener en cuenta la siguiente regla para los signos.

❀ Aproximación relativa: la frecuencia aumenta. (Esto se consigue aumentando el numerador y disminuyendo el denominador.) Por tanto, + v_0, - v_F.

❀ Alejamiento relativo: la frecuencia disminuye (disminuiremos el numerador y aumentaremos el denominador). Por tanto, - v_0, + v_F.

Existen limitaciones a la ecuación que determina el efecto Doppler. Por ejemplo:

1) Si el observador se aleja de la fuente con una velocidad superior a la del sonido, la onda nunca podrá alcanzar al observador y no tiene sentido, entonces, aplicar la ecuación.

2)Si el foco se mueve con una velocidad superior a la del sonido, aplicando la ecuación del efecto Doppler obtendríamos una frecuencia negativa; cosa que físicamente es imposible. Entonces, ¿qué ocurre en este caso cuando la fuente tiene una velocidad superior a la del sonido? Entre otras cosas, ocurre que se forma una onda de choque. Las crestas de las ondas sonoras se amontonan, de modo que la amplitud de la onda se hace mayor.

En el aire la onda de choque resultante puede aumentar la presión local lo suficiente como para romper los cristales de una ventana o dañar el oído. La onda de choque es la causante del estruendo que se produce cuando un avión sobrepasa la velocidad del sonido.

La estela que produce una motora que se mueve a una velocidad superior a la de las ondas superficiales en el agua tiene la misma explicación que la onda de choque en el sonido.

Ejercicios numéricos

① Calcula la tensión a la que se encuentra sometido un hilo de alambre de 1,5 m y una masa de 350 g sujeto por sus dos extremos, cuando al pulsarlo por su centro emite un sonido fundamental de 80 Hz.

Longitud del hilo = L = 1,5 m.
Masa del hilo = m = 350 g.
Frecuencia fundamental = 80 Hz.

Como la frecuencia es debida a un sonido fundamental n = 1 y por tanto podemos hallar su longitud de onda :

$$L = n\frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = \frac{2L}{n} = \frac{2 \cdot 1{,}5}{1} = 3\ \text{m}$$

Conocida su longitud de onda podemos hallar la velocidad de propagación ya que conocemos la frecuencia :

$$v = \lambda \cdot N = 3 \cdot 80 = 240\ \text{m/s}$$

Y conocida la velocidad de propagación podemos despejar la tensión de la fórmula de la velocidad de propagación de una onda transversal en una cuerda :

$$v = \sqrt{\frac{T}{m/L}} \Rightarrow T = \frac{mv^2}{L} = \frac{0{,}35 \cdot 240^2}{1{,}5} = 13440\ \text{N}$$

② Dos cuerdas de la misma longitud, 1 m, y con masas 1 kg y 2 kg respectivamente se unen y se tensan con una pesa de 50 kg por un extremo y con el otro atado a un gancho de la pared. En estas condiciones se produce un pulso transversal; indica la rapidez con que se propaga en cada tramo.

Longitudes de ambas cuerdas = L = 1 m.
Masa de la primera cuerda = m_1 = 1 kg.
Masa de la segunda cuerda = m_2 = 2 kg.
Peso que se cuelga = tensión sobre ambas cuerdas = 50 kg = 50 ·9,8 = 490 N.

Aplicamos la fórmula del ejercicio anterior :

$$v_1 = \sqrt{\frac{T}{m_1/L}} = \sqrt{\frac{490}{1/1}} = \sqrt{490} = 22{,}14\ \frac{m}{s};\ v_2 = \sqrt{\frac{T}{m_2/L}} = \sqrt{\frac{490}{2/1}} = \sqrt{245} = 15{,}65\ \frac{m}{s}$$

3. Escribe la ecuación de ondas que representa la propagación de una onda que se mueve hacia la derecha a lo largo de una cuerda con rapidez de 8 m/s, frecuencia de 50 Hz y amplitud 12 cm.

Sentido del movimiento = derecha.
Rapidez = v = 8 m/s.
Frecuencia = N = 50 Hz.
Amplitud = A = 12 cm = 0,12 m.

A partir de la rapidez y la frecuencia hallamos la longitud de onda :

$$v = \lambda N \Leftrightarrow \lambda = \frac{v}{N} = \frac{8}{50} = 0{,}16 \text{ m}$$

Ahora ya tenemos los datos necesarios para escribir la ecuación de la onda :

$$Y(x,t) = A\cos 2\pi\left(Nt - \frac{x}{\lambda}\right) = 0{,}12\cos 2\pi\left(50t - \frac{x}{0{,}16}\right) = 0{,}12\cos 2\pi(50t - 6{,}25x)\text{ m}$$

4. Una onda longitudinal se propaga a lo largo de un resorte horizontal en el sentido negativo del eje X, siendo 30 cm la distancia entre dos puntos que se encuentran en fase. El foco emisor vibra con una frecuencia de 20 Hz y una amplitud de 2 cm. Calcula:

a) la rapidez de propagación de la onda.

b) la ecuación de ondas si el foco emisor se encuentra en el origen de coordenadas y que en t = 0; x(x, t) = 0.

c) la rapidez y la aceleración máxima de cada partícula del resorte.

Sentido de propagación = negativo
Longitud de onda = distancia entre dos puntos en fase = λ = 30 cm = 0,3 m.
Frecuencia = 20 Hz.
Amplitud = A = 2 cm = 0,02 m

a) $v = \lambda \cdot N = 0{,}3 \cdot 20 = 6$ m/s.

b) Hallamos primero la fase inicial, teniendo en cuenta que al ser longitudinal usamos el seno y por moverse en sentido negativo signo positivo para el sumando de la posición :

$$X(x,t) = A\text{sen}2\pi\left(Nt + \frac{x}{\lambda} + \delta_0\right) \Rightarrow 0 = 0{,}02\text{sen}2\pi\left(20\cdot 0 + \frac{0}{0{,}3} + \delta_0\right) \Leftrightarrow \text{sen}2\pi\delta_0 = 0 \Rightarrow \delta_0 = 0$$

Ahora ya podemos escribir la ecuación de la onda:

$$X(x,t) = A\text{sen}2\pi\left(Nt + \frac{x}{\lambda} + \delta_0\right) = 0{,}02\text{sen}2\pi\left(20t + \frac{x}{0{,}3} + 0\right) = 0{,}02\text{sen}2\pi\left(20t + \frac{x}{0{,}3}\right)\text{m}$$

c) La rapidez de una partícula es la derivada de la ecuación de onda :

$$V = \frac{dX}{dt} = 0{,}02 \cdot 40\pi \cos 2\pi\left(20t + \frac{x}{0{,}3}\right) \Rightarrow V_{max} = 0{,}8\pi \frac{m}{s}$$

ya que la rapidez será máxima cuando el coseno sea uno.

La aceleración es la derivada de la rapidez respecto del tiempo :

$$a = \frac{dV}{dt} = -0{,}02(40\pi)^2 \operatorname{sen} 2\pi\left(20t + \frac{x}{0{,}3}\right) \Rightarrow a_{Max} = -0{,}02 \cdot (40\pi)^2 = -32\pi^2 \approx -315{,}83 \frac{m}{s^2}$$

❖❖❖❁❁❁✲❁❁❁❖❖❖

5 La ecuación del movimiento de un impulso propagándose a lo largo de una cuerda viene dado por y = 10 cos (2x - 4t) cm, donde x está expresada en m y t en s. Calcula:

a) La rapidez de propagación del impulso.

b) el instante en que la velocidad de un punto de la cuerda situado a 1 m del origen será nula. (Prueba de acceso)

◊◊◊▣▣▣◉▣▣▣◊◊◊

a) Hacemos transformaciones en la ecuación de la onda para compararla mejor con la ecuación teórica :

$$y = \cos(2x - 4t) = \cos(-(4t - 2x)) \xrightarrow{(1)} y = \cos(4t - 2x) \xrightarrow{(2)} y = \cos 2\pi\left(\frac{t}{\pi/2} - \frac{x}{\pi}\right)$$

(1) Nos basamos en que cos (- α) = cos α.

(2) Extraemos factor común al 2 y luego multiplicamos (fuera) y dividimos (dentro) por π.

Ahora comparamos :

$$\left[\begin{array}{l} y = \cos 2\pi\left(\dfrac{t}{\pi/2} - \dfrac{x}{\pi}\right) \\ y = A\cos 2\pi\left(\dfrac{t}{T} - \dfrac{x}{\lambda} + \delta\right) \end{array}\right] \Rightarrow A = 1; T = \frac{\pi}{2}; \lambda = \pi, \text{luego } v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\pi}{\pi/2} = 2\frac{m}{s}$$

b) Para hallar la velocidad de un punto dado (se fija la x = 1 m), derivamos la ecuación de onda respecto del tiempo :

$$V(1,t) = \frac{dy(1,t)}{dt} = 4\operatorname{sen}(2 \cdot 1 - 4t)$$

Como se nos dice que se ha de anular esta velocidad, podemos despejar t :

$$0 = 4\operatorname{sen}(2 - 4t) \Leftrightarrow \operatorname{sen}(2 - 4t) = 0 \Leftrightarrow 2 - 4t = \operatorname{arcsen} 0 = 0 + \pi k \text{ rad} \Rightarrow 4t + \pi k = 2 \xrightarrow{(1)} t = \frac{2}{4} = 0{,}5 s$$

(1) Para valores de k superiores a cero, el tiempo saldría negativo por ser kπ > 2

❖❖❖❁❁❁✲❁❁❁❖❖❖

6 A lo largo de un resorte se produce una onda longitudinal con la ayuda de un vibrador de 50 Hz. Si la distancia entre dos compresiones sucesivas en el muelle es 20 cm:

a) Determina la velocidad de la onda.

b) Supuesta la onda armónica y que se propaga en el sentido positivo del eje Y, escribe su ecuación, suponiendo que en t = 0 el foco se encuentra en su posición de elongación máxima y positiva.

a)

Frecuencia = N = 50 Hz.

Distancia entre dos compresiones sucesivas = longitud de onda = λ = 20 cm = 0,2 m

La velocidad de propagación de la onda es $v_p = \lambda\ N = 0{,}2 \cdot 50 = 10$ m/s.

b)

Sentido : positivo del eje OY.

Si t = 0, Ψ = +A

Amplitud =A

La ecuación general de la onda será :

$$\psi(y,t) = A\cos 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{y}{\lambda} + \delta_0\right)$$

En donde hemos cambiado el símbolo (Ψ) para evitar confusiones al desplazarse a lo largo del eje vertical, el término de distancia (y/λ) va restando pues se mueve en el sentido positivo y depende de y no de x ya que se mueve en el eje vertical (OY)

Como 1/T = N, conocemos todos los datos excepto la fase inicial (δ_0) que calculamos a partir de las condiciones iniciales :

$$\psi(y,t) = A\cos 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{y}{\lambda} + \delta_0\right) \Rightarrow A = A\cos 2\pi\left(\frac{0}{T} - \frac{0}{\lambda} + \delta_0\right) \Rightarrow 1 = \cos 2\pi\delta_0 \Leftrightarrow 2\pi\delta_0 = 0 \Leftrightarrow \delta_0 = 0$$

Sustituyendo queda :

$$\psi(y,t) = A\cos 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{y}{\lambda} + \delta_0\right) \Leftrightarrow \psi(y,t) = A\cos 2\pi(50t - 5y)\ \mathrm{m}$$

7 Una partícula oscila armónicamente en el eje OX alrededor de la posición de equilibrio x = 0, con una frecuencia de 200 Hz. Si en el instante inicial (t = 0 s), la posición de la partícula es x_0 = 10 mm y su velocidad es nula, determina en qué instante será máxima la velocidad de la misma. Si la partícula forma parte de un medio material, ¿cuál será la longitud de onda del movimiento ondulatorio que se propaga a lo largo del eje OX sabiendo que su velocidad de propagación es de 340 m/s? (Prueba de acceso)

Frecuencia = N = 200 Hz

Si t = 0, x_0 = 10 mm = 0,01 m y v(0) = v_0 = 0 .

Escribimos la ecuación del movimiento armónico simple :

$$x(t) = A\cos(\omega t + \varphi)$$

Su derivada será la ecuación de la velocidad de la partícula respecto del tiempo :

$$v(t) = {}^{dx}\!/_{dt} = \dot{x}(t) = -A\omega \operatorname{sen}(\omega t + \varphi)$$

De la condición inicial t = 0 , v(0) = 0, despejamos la fase inicial :

$$v(0) = 0 = -A\omega \operatorname{sen}(\omega t + \varphi) \Leftrightarrow \operatorname{sen}(\omega \cdot 0 + \varphi) = \operatorname{sen}\varphi = 0 \Rightarrow \varphi = 0$$

Y de la ecuación de la elongación despejamos la amplitud:

$$x(0) = A\cos(\omega \cdot 0 + 0) \Rightarrow 0{,}01 = A\cos(0) \Leftrightarrow A = 0{,}01\text{m}$$

Ahora ya podemos hallar su velocidad máxima :

$$v_M = -A\omega = -A\frac{2\pi}{T} = -2\pi AN = -2\pi \cdot 0{,}01 \cdot 200 = -4\pi\ \frac{m}{s}$$

Si conocemos la velocidad de propagación y la frecuencia podemos despejar la longitud de onda:

$$v_p = \frac{\lambda}{T} = \lambda N \Rightarrow \lambda = \frac{v_p}{N} = \frac{340}{200} = 1{,}7\text{ m}$$

❖❖❖❁❁❁✲❁❁❁❖❖❖

⑧ Una onda armónica transversal que se propaga en la superficie de un líquido, tiene una frecuencia de 10 Hz y una longitud de onda de 5 cm.

a) Calcula la distancia mínima que separa dos puntos cuyas fases difieren en 60º.

b) Si la amplitud de la onda es 8 mm, determina la altura a la que se encontrará un trocito de corcho situado a 22 cm del foco alcanzado por la perturbación, en el instante t = 1,25 s.

◊◊◊▣▣▣◉▣▣▣◊◊◊

Frecuencia = N = 10 Hz.
Longitud de onda = λ = 5 cm = 0,05 m.

a) Diferencia de fase = Δφ = 60º

Igualamos la diferencia de fase a 60º y despejamos la distancia (Δx) :

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda}\right) - 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda}\right) = \frac{2\pi}{\lambda}(x_1 - x_2) = \frac{360^o}{\lambda}\Delta x = 60^o \Rightarrow \Delta x = \frac{60^o}{360^o}\lambda = \frac{1}{6}0{,}05\text{m} = \frac{5}{6}\text{ cm}$$

b) **Amplitud = A = 8 mm = 0,008 m.**
Distancia = x = 22 cm = 0,22 m

Tiempo = t = 1, 25 s.

Sustituyendo en la ecuación de la onda :

$$Y(x,t) = A\,\text{sen}2\pi\left(Nt - \frac{x}{\lambda}\right) \Rightarrow Y(0{,}22{,}1{,}25) = 8\,\text{sen}2\pi\left(10\cdot 1{,}25 - \frac{0{,}22}{0{,}05}\right) = 8\,\text{sen}2\pi\cdot 8{,}1 = 8\,\text{sen}16{,}2\pi = 8\cdot 0{,}59 = 4{,}7 \text{ mm}$$

Una onda está representada por la ecuación f(x,t) = cos π (0,5 t + 0,725 x), en donde x viene dado en cm y t en s.

a) Especifica las características de la onda: periodo, longitud de onda, rapidez de propagación.

b) Dado un punto fijo y un instante cualquiera, determina la diferencia de fase tres segundos más tarde. (Prueba de acceso)

a) Procedemos por comparación :

$$\left\| \begin{array}{l} f(x,t) = \cos 2\pi\left(\dfrac{0{,}5t}{2} + \dfrac{0{,}125x}{2}\right) \\ f(x,t) = A\cos 2\pi\left(\dfrac{t}{T} + \dfrac{x}{\lambda} + \varphi_0\right) \end{array} \right\| \Rightarrow \begin{array}{l} \dfrac{1}{T} = \dfrac{0{,}5}{2} \Rightarrow T = \dfrac{2}{0{,}5} = 4 \text{ s} \\ \dfrac{1}{\lambda} = \dfrac{0{,}125}{2} \Rightarrow \lambda = \dfrac{2}{0{,}125} = 16 \text{ cm} \\ v = \dfrac{\lambda}{T} = \dfrac{0{,}16}{4} = 0{,}04\,\dfrac{m}{s} \end{array}$$

b) $\Delta t = 3s$

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \pi(0{,}5t_2 + 0{,}125x) - \pi(0{,}5t_1 + 0{,}125x) = 0{,}5\pi(t_2 - t_1) = 0{,}5\pi\Delta t = 0{,}5\pi\cdot 3 = 1{,}5\pi \text{ rad} = 270^\circ$$

La función de una onda transversal que se propaga a lo largo de una cuerda se representa por y = 0,20 sen 2,51(x- 100t) en donde x e y se escriben en cm y t en segundos. Calcula:

a) la amplitud de onda, frecuencia y velocidad de la onda.

b) la velocidad transversal máxima de cualquier partícula de la cuerda. (Prueba de acceso)

a) Como en el ejercicio anterior procedemos por comparación, pero primero preparamos la función de onda :

$$y = 0{,}2\,\text{sen}(2{,}51x - 251t) = 0{,}2\,\text{sen}2\pi\left(\frac{2{,}51}{2\pi}x - \frac{251}{2\pi}t\right)$$

comparamos ahora:

$$\begin{bmatrix} y(x,t) = 0{,}2\text{sen}2\pi\left(\frac{2{,}51}{2\pi}x - \frac{251}{2\pi}t\right) \\ y(x,t) = A\text{sen}2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - Nt\right) \end{bmatrix} \Rightarrow A = 0{,}2\text{m}; \frac{1}{\lambda} = \frac{2{,}51}{2\pi} \Rightarrow \lambda = \frac{2\pi}{2{,}51} \approx 40 \text{ cm} = 0{,}4\text{m}; N = \frac{251}{2\pi} \approx 40\text{Hz}$$

Luego la rapidez de propagación : $v = \lambda \cdot N = 0{,}4 \cdot 40 = 16$ m/s.

b) Para calcular la velocidad transversal (v_t) derivamos la ecuación de la onda respecto del tiempo y hacemos que la función trigonométrica tome el máximo valor posible (uno) :

$v_t = -\,0{,}2 \cdot 251 \cos 2{,}51(x - 100t)$, si $\cos 2{,}51(x - 100t) = 1 \Rightarrow$ $v_{t,max} = -0{,}2 \cdot 251 = -\,50{,}2$ cm/s

❖❖❖❁❁❁✲❁❁❁❖❖❖

11 Una onda armónica progresiva de frecuencia 50 Hz se propaga en un medio material a la velocidad de 200 m/s. Sabiendo que su amplitud es de 3 mm, se pide:

a) Calcula su longitud de onda y su periodo.

b) determina el valor de la elongación en función del tiempo y la posición, es decir, la ecuación del movimiento ondulatorio generado en el medio.

◊◊◊▣▣▣◉▣▣▣◊◊◊

a)

Frecuencia = 50 Hz.
Velocidad o rapidez de propagación = v = 200 m/s.
Amplitud = A = 3 mm.

$$v = \lambda \cdot N \Rightarrow \lambda = \frac{v}{N} = \frac{200}{50} = 4 \text{ m}; \; T = \frac{1}{N} = \frac{1}{50} = 0{,}02 \text{ s}$$

b) Sustituimos los datos en la ecuación de onda:

$$Y(x,t) = A\cos 2\pi\left(Nt - \frac{x}{\lambda} + \varphi_0\right) = 3\cos 2\pi\left(50t - \frac{x}{4}\right)\text{mm} = 0{,}003\cos 2\pi(50t - 0{,}25x) \text{ m}$$

❖❖❖❁❁❁✲❁❁❁❖❖❖